

## بررسی پتانسیل انسداد فیزیکی سه نوع پوشش زهکشی مصنوعی توسط آزمون نفوذسنجی در شرایط کاربرد آب و خاک شور

علیرضا حسن‌اقلی<sup>۱\*</sup> - شهره پدram<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۶

### چکیده

تهیه پوشش‌های شن و ماسه‌ای که در پروژه‌های زهکشی زیرزمینی کشور مورد استفاده قرار می‌گیرند، با مشکلات اجرایی همچون هزینه سنگین، به دلیل بعد مسافت از منابع قرضه تا بهم خوردگی دانه‌بندی و نیز عملیات اجرایی دشوار (حفر ترانشه‌های نسبتاً عریض) و مسایل زیست محیطی روبرو می‌باشد. از همین رو در طرح‌های زهکشی، جهت‌گیری به سمت استفاده از گزینه‌های دیگر نظیر پوشش‌های مصنوعی زهکشی، در دستور کار قرار گرفته است. از طرفی بررسی عملکرد پوشش‌های مصنوعی منتخب قبل از اجرا در سطح مزرعه توسط آزمون‌های استاندارد ضروری می‌باشد. لذا در این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از مدل فیزیکی نفوذسنج (طراحی شده براساس استاندارد ASTM D-5101) به بررسی عملکرد ۳ پوشش مصنوعی زهکشی PP450، PP700 و PP900 در شرایط کاربرد زه آب شور ( $EC=22/2$  dS/m) در مقایسه با آب غیرشور ( $EC=0/78$  dS/m) و در حضور خاک شور و سدیمی ( $EC=169/3$  dS/m و  $SAR=45/18$  (meq/lit)<sup>0.5</sup>) تهیه شده از محل پروژه زهکشی واقع در شمال خرمشهر پرداخته شد. استفاده از زه آب و خاک شور یکی از موارد متمایز این پژوهش بود که شرایط آزمون را به حالت واقعی پروژه نزدیک‌تر می‌ساخت و از این مهم در استانداردهای مربوطه و تأثیر آن بر نتایج آزمون نفوذسنجی صحبتی به میان نیامده است. در طی مراحل آزمون، شاخص‌هایی همچون تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی و نسبت گرادیان در پنج گرادیان هیدرولیکی (۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰) به منظور بررسی پتانسیل انسداد فیزیکی پوشش‌های مصنوعی در شرایط کاربرد آب و خاک شور و سدیمی، در قالب طرح آماری فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. با ملاحظه مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد زه آب شور و آب غیرشور و مقایسه آنها با یکدیگر مشخص شد که میزان هدایت هیدرولیکی مجموعه، با افزایش EC آب کاهش یافت، به طوری که هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش‌های مصنوعی PP900، PP700 و PP450 در شرایط کاربرد آب غیرشور به ترتیب ۱/۲۹، ۱/۳۶ و ۱/۲۶ برابر هدایت هیدرولیکی آنها در شرایط کاربرد زه آب شور بود. از طرفی، درصد افت هدایت هیدرولیکی در طول آزمون، در شرایط کاربرد زه آب شور و در تمامی پوشش‌ها، بیشتر از درصد افت هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد آب غیرشور مشاهده شد که حاکی از افزایش پتانسیل انسداد فیزیکی پوشش‌ها در شرایط کاربرد زه آب شور می‌باشد. در هر ۳ آزمایش، نسبت گرادیان (که از تقسیم گرادیان هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی بر گرادیان هیدرولیکی خاک به دست می‌آید و چنانچه مقدار آن از ۱/۰ تجاوز کند، پوشش مصنوعی مستعد انسداد فیزیکی است) کمتر از یک بود. در نهایت، مجموع نتایج آزمون‌های نفوذسنجی و آنالیزهای آماری حاکی از عملکرد مطلوب‌تر پوشش مصنوعی PP450 نسبت به دو پوشش مصنوعی دیگر به کار رفته در این آزمون‌ها بود، لیکن ضروری است تا به‌گزینه کیفیت آب در آزمون‌های نفوذسنجی، به عنوان عاملی تأثیرگذار، توجه لازم مبذول شود.

واژه‌های کلیدی: پوشش مصنوعی، خرمشهر، زه آب، شوری، نسبت گرادیان، نفوذسنج، هدایت هیدرولیکی

### مقدمه

تبخیر- تعرق زیاد، سنگینی بافت خاک، بالا بودن سطح ایستابی، کیفیت پایین آب زیرزمینی و عدم تکمیل شبکه‌های آبیاری و زهکشی در زمین‌های مزروعی و برخی کمبدها و مسایل دیگر، سبب به وجود آمدن مشکلات ماندابی و شوری در مناطقی از کشور و از جمله استان خوزستان شده است. در چنین شرایطی، ناپایداری و واگرایی خاک‌های منطقه از یک طرف و لزوم احداث سامانه مناسب زهکشی از طرف دیگر، اهمیت اجرای تحقیقات منطقه‌ای مرتبط، به ویژه در زمینه

شرایط جغرافیایی نامطلوب حاکم از جمله دمای بالا، بارش کم،

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

(\*) نویسنده مسئول: (Email: arho49@yahoo.com)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس اهوریحان، دانشگاه تهران

و (۱۵). مرحله دوم، استفاده از آزمون‌های تکمیلی آزمایشگاهی است که قابلیت شبیه‌سازی فرایندهایی را که در سطح پوشش مصنوعی و در ارتباط با خاک و آب به‌وقوع می‌پیوندد را داشته و بر خلاف آزمون‌های مزرعه‌ای که بسیار وقت‌گیر بوده و اجرای آنها تنها در پروژه‌های در سطح بسیار بزرگ قابل توصیه است، به‌سرعت قابل اجرا می‌باشند (۲ و ۴).

راوال و آناندجیوالا (۱۳) به‌بررسی خواص ۱۵ نمونه ژئوتکتستایل (زمین‌بافت) از نوع نفاخته تولید شده از الیاف پلی‌استر در مقایسه با همین تعداد زمین‌بافت تولیدی از الیاف کتان پرداختند. آنها در تحقیقات خود به‌این نتیجه دست یافتند که تنوع و گوناگونی در طول الیاف کتان، منجر به کاهش مقاومت کششی و تنوع در اندازه منافذ پوشش ساخته شده از این الیاف و خواص هیدرولیکی آنها می‌شود. البته زمین‌بافت‌های تولید شده از الیاف کتان در مقایسه با پوشش‌های مصنوعی پلی‌استری، خواص نفوذپذیری بالاتری را از خود نشان دادند. لذا براساس این تحقیق، با اندک تغییری در الیاف کتان به‌کار برده شده در تولید زمین‌بافت می‌توان نقاط ضعف این نوع پوشش‌ها را در مقایسه با انواع ساخته شده از پلی‌استر برطرف کرد.

پالمیرا و گاردونی (۱۱)، اثر مقادیر مختلف فشار را روی خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی زمین‌بافت‌ها اندازه گرفتند و پی بردند که هرچه فشار اعمالی بر روی پوشش مصنوعی، در نتیجه افزایش عمق کارگذاری لوله زهکش بیشتر شود، ضخامت، اندازه روزه‌ها و نفوذپذیری پوشش کاهش می‌یابد و در عملکرد سامانه زهکشی ایجاد مشکل می‌کند. ریسینگ‌هانی و ویس‌وانادها (۱۲) نیز دست به بررسی خواص نفوذپذیری زمین‌بافت‌ها در حضور خاکی با نفوذپذیری کم زدند. در این تحقیق از یک دستگاه نفوذسنج<sup>۳</sup> استفاده شد. آنها به‌این نتیجه رسیدند که افزایش فشار بر روی مجموعه خاک-پوشش، منجر به کاهش خواص نفوذپذیری زمین‌بافت می‌گردد.

فرناندو و همکاران (۱۰) دست به تحقیقی در رابطه با احتمال گرفتگی بیولوژیکی زمین‌بافت‌ها زدند. نتایج این بررسی که به‌طور هم‌زمان بر روی پوشش‌های زمین‌بافت و پوشش‌های معدنی انجام گرفت (به‌منظور فیلتر کردن پساب فاضلاب کشاورزی در یک دوره ۵ ساله) نشان داد که عملکرد هر دوی این پوشش‌ها از کیفیت آب تأثیر می‌پذیرد. همچنین کاربرد پوشش‌های مصنوعی از لحاظ کارکرد و ملاحظات اقتصادی، نسبت به پوشش‌های معدنی مقرون به صرفه‌تر بود.

آنوبه‌او و باسودهار (۸) رفتار سامانه خاک-پوشش مصنوعی را (به‌ویژه در زمان کارگذاری لوله دارای پوشش مصنوعی در ترانشه زهکشی) مورد بررسی قرار داده و به مدل‌سازی پدیده‌های به‌وقوع

کاربرد انواع پوشش‌های زهکشی را دوچندان می‌سازد. تجربه نشان داده است که یکی از علل ناکامی در توسعه متناسب پروژه‌های زهکشی زیرزمینی کشور، مشکلاتی است که به تأمین پوشش‌های مورد نیاز مربوط می‌شود (۲).

بنابر تعریف، پوشش<sup>۱</sup> به‌مواد نفوذپذیری اتلاق می‌گردد که در اطراف لوله زهکش زیرزمینی قرار گرفته و ضمن بهبود عملکرد هیدرولیکی، از ورود رسوبات به‌داخل لوله جلوگیری می‌نماید. نقش پوشش‌های زهکشی، بهبود هدایت هیدرولیکی محیط اطراف لوله‌های زهکش می‌باشد و در عین حال به‌عنوان یک لایه نفوذپذیر، از ورود ذرات خاک به داخل لوله جلوگیری به‌عمل می‌آورند. البته بخشی از ذرات ریز معلق که خطری را از نظر رسوب‌گذاری و انسداد ایجاد نمی‌کنند، از پوشش عبور نموده و به‌داخل لوله زهکش راه می‌یابند. به‌طور کلی، از هرگونه مواد و مصالح نفوذپذیری که از کارایی لازم برخوردار بوده، به‌لحاظ اقتصادی با صرفه و در مقادیر مکفی در دسترس باشد، می‌توان به‌عنوان پوشش زهکشی استفاده نمود (۱۴).

امروزه رایج‌ترین نوع پوشش‌های زهکشی مورد استفاده در کشور، پوشش حجیم معدنی (شن و ماسه‌ای) است. هرچند این نوع پوشش زهکشی از نظر عملکرد به‌عنوان گزینه برتر شناخته می‌شود، لیکن تأمین و استفاده از آن به یکی از چالش‌های بحث برانگیز در اجرای پروژه‌های زهکشی بدل شده است. دوری محل اجرای پروژه‌ها از منابع قرصه شن و ماسه، هزینه‌های گزاف تهیه و حمل و نقل این نوع پوشش‌ها و مسایل زیست محیطی ناشی از برداشت بی‌رویه شن و ماسه از معادن و بستر رودخانه‌ها، از جمله مواردی است که به‌این مشکلات دامن می‌زند. این مهم، ضرورت جایگزینی دیگر محصولاتی که از توان اجرای وظایف یک پوشش مناسب برخوردار بوده و در عین حال، به‌سهولت قابل تأمین باشند را بیش از پیش نمایان می‌سازد. یکی از این گزینه‌ها، استفاده از پوشش‌های مصنوعی<sup>۲</sup> است (۱).

پوشش‌های مصنوعی منسوجاتی الیافی می‌باشند که نسبت به عبور سیالاتی از قبیل آب و گازها نفوذپذیرند. به‌دلیل خصوصیات بارز آنها از نظر عبور سیالات از خود و قابلیت جلوگیری از ورود ذرات خاک (نقش فیلتری) است که از آنها در پروژه‌های زهکشی زیرزمینی و به‌عنوان پوشش دور لوله‌های زهکش استفاده می‌شود. جهت موفقیت در استفاده از پوشش‌های مصنوعی، لازم است پوشش مناسب و متناسب با خصوصیات خاک و سایر شرایط حاکم بر منطقه انتخاب شود (۲ و ۴). اولین مرحله در انتخاب پوشش‌های مصنوعی که برآورد اولیه از محصول مناسب را به‌دست می‌دهد، استفاده از ضوابط و معیارهای ارائه شده در این خصوص می‌باشد که بر اساس استانداردهای گوناگون و شرایط هر منطقه تا حدودی متفاوت است (۴)

1- Envelope

2- Synthetic

3- Permeameter

شد. نتایج نشان داد که دبی خروجی از پوشش معدنی تقریباً ۲ برابر پوشش مصنوعی بود و پوشش PP450 نسبت به دیگر پوشش‌های مصنوعی دارای عملکرد مناسب‌تری می‌باشد.

در تحقیق حاضر از آزمون نفوذسنجی که به صورت آزمایشگاهی انجام می‌پذیرد، به جای آزمون‌های پرهزینه و وقت‌گیر مزرعه‌ای استفاده به عمل آمد. از نکات متمایز در این تحقیق می‌توان به استفاده از آب و خاک شور اشاره کرد. تاکنون در تمامی تحقیقات مرتبط به-انجام رسیده، از آب غیرشور جهت اجرای آزمایش‌ها استفاده شده و این درحالی است که به نظر می‌رسد کاربرد آب غیرشور، به خودی خود و حتی در مرحله اشباع سامانه نفوذسنجی و قبل از راه‌اندازی آن، به-آشوبی خاک از نمک‌های محلول و پایداری آن منجر شود و بر نتایج آزمون تأثیر بگذارد. از طرفی، در آغاز بهره‌برداری از سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در این نقطه از کشور، مدت زمان طولانی جهت آشوبی نمک‌ها مورد نیاز است و در این شرایط، آب و خاک شور با لوله و پوشش در تماس می‌باشند. لذا می‌توان انتظار داشت که مقادیر شوری و سدیم بالا به پراکندگی ذرات خاک منجر شده و بر عملکرد پوشش‌های زهکشی (به‌ویژه از نوع مصنوعی آن) تأثیرگذار باشد، زیرا به دلیل الیافی بودن پوشش‌های مصنوعی و نیز ضخامت بسیار کمتر آنها در مقایسه با پوشش‌های معدنی، احتمال انسداد فیزیکی و شیمیایی افزایش می‌یابد. به همین دلیل سعی بر آن شد تا شرایط آزمون به حالت واقعی پروژه‌های زهکشی نزدیک‌تر شود. لذا هدف اصلی از انجام آزمایش‌ها عبارت است از بررسی خصوصیات هیدرولیکی سه نوع پوشش مصنوعی، مقایسه عملکرد آن‌ها با یکدیگر و بررسی احتمال گرفتگی و انسداد فیزیکی آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی. در این تحقیق از آزمون نفوذسنجی و در حضور آب و خاک شور تهیه شده از محل پروژه زهکشی اجرا شده در منطقه خرمشهر استفاده به عمل آمد. نتایج حاصل با نتایجی که از کاربرد آب غیرشور در آزمایش‌های مشابه و به‌طور هم‌زمان حاصل می‌شود مقایسه گردید. بدین طریق، میزان تأثیر کیفیت آب و خاک بر نتایج آزمون نفوذسنجی و چگونگی انتخاب پوشش‌های مصنوعی در این شرایط، مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

آزمون نفوذسنجی جهت تعیین نفوذپذیری<sup>۳</sup> مجموعه خاک-پوشش مصنوعی و نیز پیش‌بینی پتانسیل انسداد فیزیکی پوشش‌های مصنوعی تحت شرایط جریان یک بعدی به کار برده می‌شود. پتانسیل انسداد عبارت است از استعداد یک پوشش مصنوعی معین به کاهش نفوذپذیری، در نتیجه مسدود شدن روزنه‌های آن توسط ذرات خاک و

پیوسته در این سامانه پرداختند. آنها در تحقیقات خود، دستگاه برش مستقیم<sup>۱</sup> را به کار بردند تا بتوانند پدیده‌هایی که در سطح تماس خاک و پوشش مصنوعی به وقوع می‌پیوندد را بررسی نمایند. آزمایش‌ها بر روی ۲ نمونه پوشش مصنوعی از نوع بافته انجام پذیرفت. پس از آنالیز داده‌ها، یک مدل غیرخطی برای پیش‌بینی پدیده‌های به‌وقوع پیوسته ارائه گردید. آنها دریافتند که کلیه نتایج حاصل از مدل ارائه شده، با نتایج به‌دست آمده از آزمایش برش مستقیم مطابقت دارد.

حسن‌اقلی و دربندی (۳) در تحقیقات خود، تولید پوشش‌های مصنوعی از نوع نفاخته را با استفاده از امکانات موجود در داخل کشور و همچنین ارزیابی عملکرد فنی آنها را در مقایسه با پوشش‌های شن و ماسه‌ای رایج، در مدل‌های آزمایشگاهی مورد آزمون و بررسی قرار دادند. به‌همین منظور ۲ نمونه زمین‌بافت به‌روش منگنه سوزنی، یکی با استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن (با وزن واحد سطح ۳۰۰ گرم بر متر مربع) و دیگری از ضایعات فرش (با وزن واحد سطح ۶۵۰ گرم بر متر مربع) در یک کارخانه نساجی تولید شد و سپس، ۲ نمونه خاک ناپایدار که دارای بافت لومی و لوم شنی بودند انتخاب و با استفاده از دستگاه نفوذسنج، زمین‌بافت مناسب هر خاک تعیین گردید. با این آزمون مشخص شد که زمین‌بافت ۶۵۰ برای خاک لوم شنی و زمین‌بافت ۳۰۰ برای خاک لومی مناسب است. در این مرحله به‌منظور بررسی عملکرد فنی زمین‌بافت‌ها در مقایسه با پوشش‌های معدنی، از ۲ مخزن خاک و آب به‌عنوان مدل ترانسه استفاده گردید. نتایج نشان داد که نسبت میزان دبی خروجی با پوشش زمین‌بافت به پوشش شن و ماسه‌ای در بارهای هیدرولیکی ۰/۳۰، ۰/۶۰ و ۰/۹۰ سانتی‌متر، در خاک لومی به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۴۱ و ۰/۶۸ و در خاک لوم شنی ۰/۸۳، ۰/۷۲ و ۰/۶۰ بود. همچنین نسبت میزان مقاومت ورودی به لوله با پوشش مصنوعی به پوشش معدنی در همان بارهای هیدرولیکی، در خاک لومی به ترتیب ۱۵، ۱۱ و ۵/۳۵ و در خاک لوم شنی ۱/۱۱، ۰/۹۱ و ۱/۰۰ به‌دست آمد. بر اساس نتایج، پیشنهاد شد که زمین‌بافت‌های مذکور در شرایطی به کار گرفته شوند که پایین آوردن سطح ایستابی با سرعت کمتری مدنظر باشد.

کریمی و همکاران (۵)، در تحقیقاتی به‌بررسی آزمایشگاهی عملکرد سه نمونه پوشش مصنوعی PP450، PP700 و PP900 از نوع PLM<sup>۲</sup> (مواد الیافی حجیم و سست پیش‌تنیده به‌دور لوله) در مقایسه با پوشش معدنی، با استفاده از خاک پروژه زهکشی شمال خرمشهر و آب معمولی و توسط مدل فیزیکی نفوذسنج، با اعمال چهار گرادیان هیدرولیکی (۵/۲، ۵، ۷/۵ و ۱۰) پرداختند. در این آزمایش‌ها، تغییرات دبی خروجی از مجموعه خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی، نسبت گرادیان و نسبت هدایت هیدرولیکی در هر چهار پوشش بررسی

1- Direct shear stress

2- Pre-wrapped loose materials

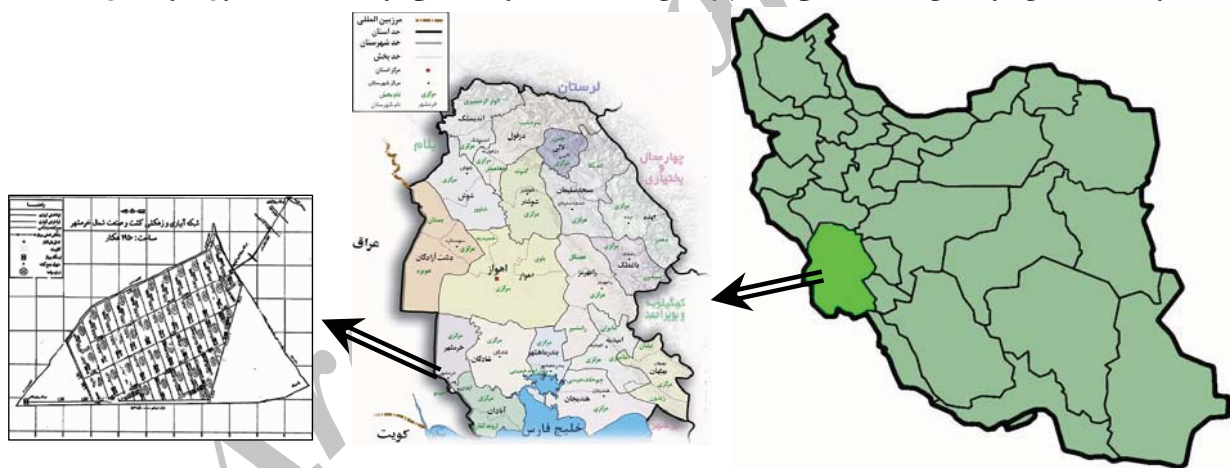
3- Permeability

خرمشهر در منتهی‌الیه جنوب غربی جلگه خوزستان، در محدوده جغرافیایی طول‌های ۴۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۰ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است. این شهرستان شامل دو بخش مرکزی و مینو بوده که بخش مرکزی شامل دهستان‌های حومه شرقی و غربی کارون و بخش مینو شامل دهستان‌های جزیره مینو می‌باشد. اراضی طرح کشت و صنعت شمال خرمشهر در دهستان‌های کارون غربی واقع شده، از طرف غرب به جاده آسفالت اهواز- خرمشهر، از طرف شمال و شرق به کانال شهید شیردم و از طرف جنوب به جاده ماردر محدود می‌شود.

طبق نمونه برداری‌های به عمل آمده، شوری زه‌آبهای منطقه در محدوده ۲۰ تا بالاتر از ۱۲۰ دسی‌زیمنس بر متر در نوسان بود. با توجه به اینکه میزان متوسط شوری زه‌آب در وسعت قابل توجهی از اراضی پروژه زهکشی، نزدیک به ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر است، لذا برای اجرای آزمون‌ها از نمونه زه‌آب تهیه شده که دارای شوری ۲۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود استفاده شد. تهیه خاک نیز از نقطه‌ای از اراضی پروژه انجام گرفت که در ظاهر هم تجمع قابل توجه نمک را از خود نشان می‌داد. مشخصات نمونه‌های آب غیرشور، زه‌آب شور و خاک شور- سدیمی مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ قابل مشاهده است.

یا تشکیل یک لایه محدود کننده جریان بر سطح آن. در این خصوص استانداردهای متعددی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به استاندارد ASTM D-5101 اشاره کرد (۷). در این تحقیق با بهره‌گیری از آزمون نفوذسنجی و در شرایط آزمایشگاهی و استفاده از دستگاه نفوذسنج، به بررسی عملکرد ۳ نمونه پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب و خاک شور- سدیمی پرداخته شد.

از آنجا که در استاندارد مربوط به آزمون نفوذسنجی، از اثرات احتمالی کیفیت آب ورودی و خاک بر نتایج آزمون ذکری به‌میان نیامده و از طرفی، در بسیاری از پروژه‌های زهکشی ایران، خاک و آب شور زیرزمینی وجود دارد و تا مدت‌ها ممکن است سامانه زهکشی تحت تأثیر این کیفیت نامناسب قرار گیرد، لذا انجام آزمایش‌هایی به منظور واسنجی نتایج آزمون نفوذسنجی با چنین شرایطی ضروری به نظر رسید. به همین جهت این تحقیق آزمایشگاهی با استفاده از خاک و زه‌آب شور تهیه شده از محل یک پروژه زهکشی در منطقه شمال خرمشهر به اجرا درآمد (شکل ۱). اراضی کشت و صنعت شمال خرمشهر، در جنوب استان خوزستان و به فاصله ۱۲۰ کیلومتری از شهرستان اهواز و ۵ کیلومتری شمال شهرستان خرمشهر واقع گردیده و با مساحت ۲۰۰۰ هکتار، به‌عنوان یکی از مهمترین برنامه‌های توسعه کشاورزی در استان خوزستان به‌شمار می‌آید. شهرستان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی پروژه زهکشی شمال خرمشهر

جدول ۱- مشخصات شیمیایی نمونه‌های آب و خاک

نسبت جذب سدیم* (SAR)	جمع کاتیون-ها	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)				جمع آنیون-ها	آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)				pH	EC دسی‌زیمنس بر متر	مشخصات نمونه
		$K^+$	$Na^+$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$		$SO_4^{-2}$	$Cl^-$	$HCO_3^-$	$CO_3^{-2}$			
۴۵/۱۸	۱۶۹۷/۴۰	ناچیز	۹۰/۴۰	۱۴۱/۰۰	۶۵۵/۰۰	۱۶۹۷/۰۰	۳۴۰/۸۰	۱۳۵۴/۰۰	۲/۲۰	-	۷/۳۳	۱۶۹/۳۰	خاک خرمشهر
۲۶/۲۷	۲۲۵/۴۳	"	۱۵۵/۴۳	۱۶/۰۰	۵۴/۰۰	۲۲۵/۲۷	۴۲/۴۷	۱۷۹/۵۰	۳/۴۰	-	۷/۹۰	۲۲/۲۰	نمونه زه‌آب
۱/۲۳	۱۰/۴۵	"	۲/۴۵	۴/۰۰	۴/۰۰	۱۰/۰۹	۵/۶۹	۲/۰۰	۲/۴۰	-	۷/۲۳	۰/۷۸	آب غیرشور

\*: بر حسب جذر میلی‌اکی‌والان بر لیتر یا  $(meq/lit)^{0.5}$

جدول ۲- سایر مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک خرمشهر

جرم مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر روز)	نوع بافت	درصد ذرات خاک		
			رس	سیلت	شن
ظاهری ۱/۵۸	۰/۳۸۵	لوم رسی سیلتی	۲۹/۳۷	۵۲/۳۰	۱۸/۳۳
حقیقی ۲/۷۰			۲/۲۹	۳۵/۰۰	۲/۹۲۸

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سه پوشش مصنوعی زهکشی (PLM) مورد استفاده در آزمون‌ها

قطر انواع الیاف مورد استفاده (میلی متر)	ضخامت (میلی متر)	جرم واحد سطح (گرم بر سانتی متر مربع)	O <sub>90</sub> (میکرون)	هدایت هیدرولیکی پوشش (Ke) (متر در روز)	پوشش مصنوعی
۰/۷۶	۵/۲	۰/۰۶۰۷	۴۵۰	۰/۶۷۸۸	PP450
۰/۸۳	۵/۶	۰/۰۶۱۹	۷۰۰	۰/۶۹۶۷	PP700
۰/۸۸	۵/۸	۰/۰۶۳۸	۹۰۰	۰/۶۹۹۴	PP900

پوشش مصنوعی قرار دارد (شکل ۲). نمونه پوشش در حفاصل پایه و بدنه دستگاه، بر روی صفحه‌ای توری نصب می‌شود که دارای روزنه‌هایی مربع شکل به ابعاد ۴ میلی‌متر است. سایر اجزای نفوذسنج را پیژومترهایی تشکیل می‌دهد که به صورت زوج در مقابل هم قرار دارند. یک پیژومتر در بالای سطح خاک و پیژومتر دیگری در پایه دستگاه و زیر نمونه پوشش مصنوعی قرار دارد. ورودی جریان آب در قسمت بالایی دستگاه (بالا تر از سطح خاک) بوده و در بالاترین بخش نیز شیر تخلیه هوا قرار گرفته است. مراحل آماده‌سازی شامل نصب پوشش مصنوعی در محل خود، پر کردن دستگاه نفوذسنج با خاک دست خورده و آماده شده، اشباع کردن مجموعه خاک- پوشش و در نهایت، شروع آزمایش طبق استاندارد موجود (ASTM D-5101) می‌باشد. با ایجاد گرادیان‌های هیدرولیکی ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰، میزان جریان خروجی، هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان مجموعه خاک- پوشش به دست می‌آید. پس از اجرای آزمون‌ها و با استفاده از داده‌های برداشت شده، محاسباتی انجام می‌شود. از جمله، شیب هیدرولیکی (i)، که با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (۷):

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad (1)$$

که در آن:

$\Delta h$  = تفاضل قرائت فشارسنج‌های ۱ و ۶ بر حسب سانتی‌متر

$l$  = طول نمونه خاک بر حسب سانتی‌متر

هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در دمایی که آزمایش در آن انجام شده محاسبه می‌شود و سپس برای دمایی استاندارد ۲۰ درجه سانتی‌گراد و به صورت زیر تصحیح می‌گردد (۷):

$$K_T = \frac{V}{i \times t \times A \times 100} \quad (2)$$

در اجرای آزمون نفوذسنجی و با توجه به محدودیت میزان زه‌آب شور که از منطقه پروژه زهکشی شمال خرمشهر تهیه شد، در قسمت مخزن ورودی ادوات و برای آزمایش‌هایی که در آن از زه‌آب بهره گرفته شد، از یک منبع ذخیره ۳۰ لیتری استفاده گردید که در ارتفاع بالاتری نسبت به منبع دیگری با ظرفیت ۲۰ لیتر قرار داشت. منبع دوم به عنوان واسط عمل نموده و با نصب یک شناور در آن، سطح ثابت آب ایجاد گردید تا بار هیدولیکی ثابت برقرار باشد. در قسمت خروجی نیز از یک مخزن دارای سرریز استفاده شد تا تراز آب خروجی در طول آزمایش‌ها ثابت باشد. آزمون‌ها برای هر نمونه پوشش و هر نمونه آب ورودی در ۳ تکرار اجرا شد. به منظور جلوگیری از تأثیر شرایط محیطی، به طور هم زمان از دو دستگاه نفوذسنج استفاده گردید که در یکی از زه‌آب شور و در دیگری از آب غیرشور جهت آزمایش‌ها استفاده به عمل می‌آمد.

در این تحقیق از ۳ نمونه پوشش مصنوعی PLM تولید کشور آلمان، مشتمل بر انواع PP450، PP700 و PP900 بهره گرفته شد. هر ۳ پوشش از الیاف پلی‌پروپیلین ضایعاتی تولید می‌شوند و اندازه ظاهری روزنه‌ها (O<sub>90</sub>) یا اندازه‌های از روزنه‌های پوشش که ۹۰ درصد روزنه‌ها از آن کوچک‌تر است) در این پوشش‌ها به ترتیب برابر ۴۵۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ میکرون است. با توجه به منحنی دانه‌بندی خاک منطقه، در انتخاب اولیه و بر اساس نتایج بررسی‌های نظری (۱۵)، پوشش PP700 به عنوان گزینه مناسب تشخیص داده شد. از همین رو پوشش‌های PP450 و PP900 به عنوان مرزهای پایین و بالا جهت آزمون در نظر گرفته شدند. مشخصات پوشش‌های مصنوعی مورد استفاده در جدول ۳ قابل مشاهده است.

دستگاه نفوذسنج، استوانه‌ای شفاف از جنس پلکسی گلاس می‌باشد که در ترازهای مختلف آن، پیژومترهایی جهت بررسی تغییرات شیب هیدرولیکی در طول ستون خاک و اطراف و خارج از

$$\Delta h_s = \frac{(M_2 - M_4) + (M_3 - M_5)}{2} \quad (5)$$

$$\Delta h_{SF} = \frac{(M_4 - M_6) + (M_5 - M_6)}{2} \quad (6)$$

که در آن‌ها:

GR = نسبت گرادیان (بدون بعد)

Mn = قرائت درجه فشارسنج شماره n (سانتی‌متر)

L<sub>S</sub> = فاصله مابین فشارسنج‌های ۲ و ۴ یا ۳ و ۵ (سانتی‌متر)

L<sub>SF</sub> = فاصله بین فشارسنج ۴ یا ۵ با نمونه پوشش مصنوعی (سانتی‌متر)

Δh<sub>s</sub> = گرادیان هیدرولیکی خاک (بدون بعد)

Δh<sub>SF</sub> = گرادیان هیدرولیکی خاک - پوشش (بدون بعد)

## نتایج و بحث

### بررسی وضعیت پوشش‌های مصنوعی

با اندازه‌گیری ضخامت هر ۳ نمونه پوشش مصنوعی به کار برده شده در تحقیق مشخص گردید که تمامی آنها حداقل ضخامت توصیه شده در استاندارد EN (CEN/TC155/WG18/1994) را دارا بوده و ضخامت تمامی نمونه‌ها بیشتر از ۳ میلی‌متر می‌باشد (ضخامت پوشش‌های PP450، PP700 و PP900 به ترتیب ۵/۲، ۵/۶ و ۵/۸ میلی‌متر بود). همچنین با توجه به کمیت ضخامت، این پوشش‌ها از لحاظ استحکام مکانیکی برای حمل و نقل و نصب با مشکلی مواجه نخواهند شد (۶).

$$K_{20} = \frac{K_T \times \mu_T}{\mu_{20}} \quad (3)$$

که در آن‌ها:

K<sub>T</sub> = هدایت هیدرولیکی سامانه در دمای آزمایش (متر بر ثانیه)

K<sub>20</sub> = هدایت هیدرولیکی سامانه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (متر بر ثانیه)

V = حجم جریان خروجی اندازه‌گیری شده در مدت مشخص (سانتی‌متر مکعب)

i = شیب هیدرولیکی سامانه (بدون بعد)

A = سطح مقطع نمونه پوشش مصنوعی (سانتی‌متر مربع)

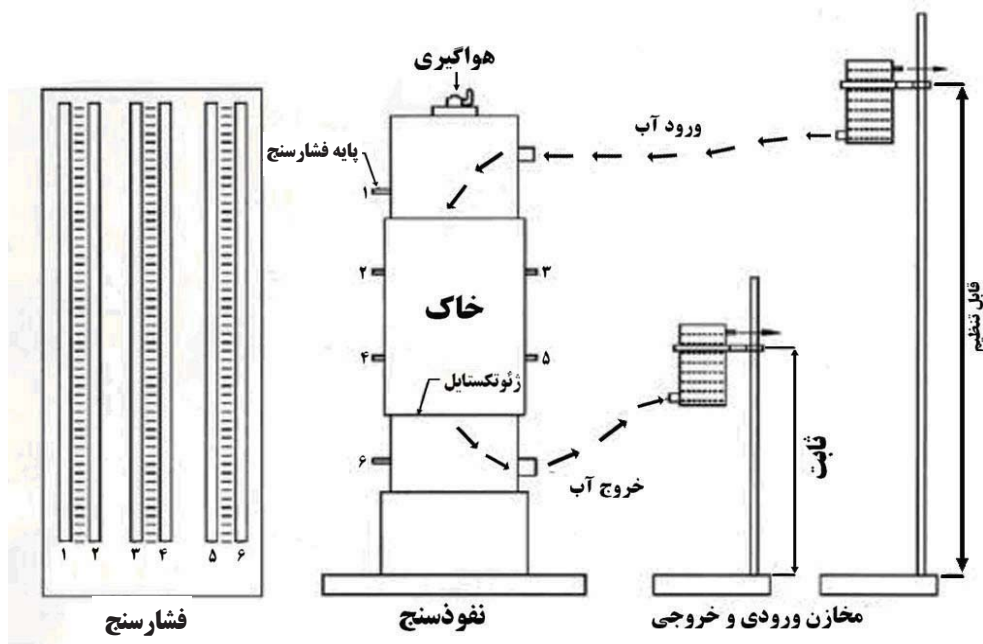
t = مدت زمان اندازه‌گیری جریان خروجی (ثانیه)

μ<sub>T</sub> = گرانروی (ویسکوزیته) آب در دمای آزمایش (کیلوگرم نیرو بر متر مربع در ثانیه)

μ<sub>20</sub> = گرانروی آب در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (کیلوگرم نیرو بر متر مربع در ثانیه)

نسبت گرادیان که از تقسیم گرادیان هیدرولیکی خاک - پوشش به گرادیان هیدرولیکی خاک حاصل می‌شود، از روابط زیر به دست می‌آید. با توجه به استانداردهای موجود، اگر نسبت گرادیان بزرگتر از یک باشد، نشان‌دهنده عدم تناسب پوشش مورد نظر با خاک منطقه اجرای پروژه زهکشی بوده و احتمال انسداد فیزیکی پوشش توسط ذرات خاک در این شرایط بالا می‌باشد (۷):

$$GR = \frac{\Delta h_{SF} / L_{SF}}{\Delta h_s / L_s} = \frac{L_s \times \Delta h_{SF}}{L_{SF} \times \Delta h_s} \quad (4)$$



شکل ۲- دستگاه نفوذسنج و ضمائم آن (۱)

ترتیب برابر ۰/۶۷۸۸، ۰/۶۹۶۷ و ۰/۶۹۹۴ متر بر روز و هدایت هیدرولیکی خاک مورد استفاده در این آزمون‌ها برابر ۰/۰۷۴۵ متر بر روز بود، به این ترتیب هیچ یک از پوشش‌ها دارای هدایت هیدرولیکی برابر یا بیشتر از ۱۰ برابر هدایت هیدرولیکی خاک نمی‌باشند. نتایج تحقیقات انجام پذیرفته توسط محققین مشخص کرده است که برای کاهش مقاومت ورودی جریان در شرایط کاربرد پوشش مصنوعی PLM، بهتر است نسبت هدایت هیدرولیکی پوشش به هدایت هیدرولیکی خاک مساوی یا بیشتر از ۱۰ شود (۵ و ۹).

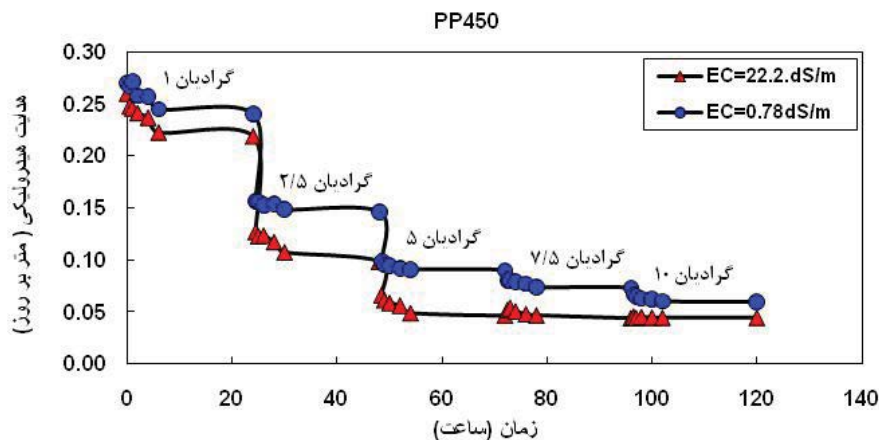
### هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی

مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده مجموعه خاک- پوشش مصنوعی تیمارهای مشابه (۳ تکرار) برای هر گرادیان در شرایط کاربرد آب ورودی غیرشور و زه‌آب شور به سامانه نفوذسنجی، در جدول ۴ آمده است. نتایج حکایت از آن دارد که در هر گرادیان، هدایت هیدرولیکی برای هر ۳ نمونه پوشش مصنوعی مورد آزمایش، با گذشت زمان روند کاهشی داشته که می‌تواند به دلیل حرکت ذرات خاک به داخل پوشش و انسداد تدریجی آن باشد.

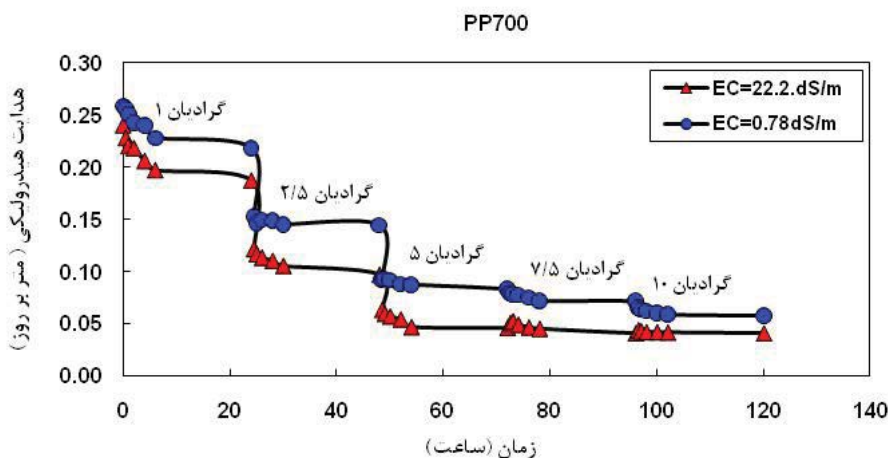
با اندازه‌گیری جرم نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های متفاوت پوشش‌های مصنوعی مورد نظر مشخص گردید که تفاوت کمترین میزان جرم اندازه‌گیری شده در واحد سطح پوشش مصنوعی PP450 و بیشترین مقدار آن، ۱۲ درصد بود. این مقدار در مورد پوشش‌های مصنوعی PP700 و PP900 به ترتیب ۲۱ و ۱۷ درصد به دست آمد و با توجه به استاندارد EN که حداکثر تغییرات نباید بیشتر از ۲۵ درصد باشد، نشان از یکنواختی محصول در طول و عرض ورقه هر ۳ پوشش مصنوعی مورد استفاده در این آزمون‌ها دارد. از طرفی با توجه به مقادیر اندازه متوسط روزنه‌ها ( $O_{90}$ ) که برای ۳ پوشش مصنوعی PP450، PP700 و PP900 به ترتیب ۴۵۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ میکرون است و مقدار  $d_{90}$  خاک (به دست آمده از روی منحنی دانه‌بندی) که برابر ۱۴۰ میکرون می‌باشد، نسبت  $O_{90}$  به  $d_{90}$  محاسبه شده برای ۳ نمونه پوشش فوق به ترتیب برابر با ۳/۲۲، ۵ و ۶/۴۲ است. با توجه به اینکه این مقدار بایستی در بازه ۱ تا ۵ قرار گیرد (۱۴)، دو پوشش مصنوعی PP450 و PP700 از نظر این معیار، قابلیت جلوگیری از ورود ذرات خاک به داخل لوله زهکش را دارا می‌باشند. در نهایت، با توجه به اینکه مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده ۳ پوشش مصنوعی PP450، PP700 و PP900 به-

جدول ۴- متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیرشور زه‌آب شور

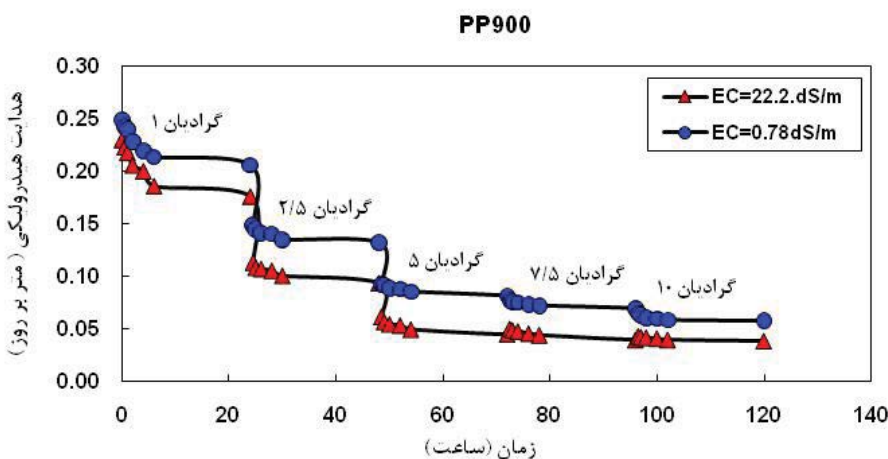
زه‌آب شور (شوری ۲۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر)			آب غیرشور (شوری ۰/۷۸ دسی‌زیمنس بر متر)			گرادیان هیدرولیکی
PP900	PP700	PP450	PP900	PP700	PP450	
۰/۲۰۵۸	۰/۲۱۳۷	۰/۲۳۸۸	۰/۲۲۸۱	۰/۲۴۱۷	۰/۲۵۷۹	۱/۰
۰/۱۰۴۵	۰/۱۱۰۶	۰/۱۱۵۸	۰/۱۴۰۰	۰/۱۴۷۹	۰/۱۵۱۸	۲/۵
۰/۰۵۳۰	۰/۰۵۴۳	۰/۰۵۶۱	۰/۰۸۷۶	۰/۰۸۹۴	۰/۰۹۳۹	۵/۰
۰/۰۴۵۵	۰/۰۴۷۴	۰/۰۴۹۰	۰/۰۷۳۴	۰/۰۷۵۴	۰/۰۷۷۰	۷/۵
۰/۰۴۵۰	۰/۰۴۲۱	۰/۰۴۴۵	۰/۰۶۰۱	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۲۵	۱۰/۰



شکل ۳- تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش PP450 در شرایط کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور در آزمون نفوذسنجی



شکل ۴- تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی PP700 در شرایط کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور



شکل ۵- تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی PP900 در شرایط کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور

بیشتر ذرات خاک و در نهایت، افزایش احتمال انسداد فیزیکی پوشش‌های مصنوعی به کار برده شده در آزمون دارد، به این ترتیب که در ۳ پوشش مصنوعی PP450، PP700، و PP900، متوسط هدایت هیدرولیکی در آزمون نفوذسنجی با کاربرد آب غیرشور به ترتیب ۱/۲۶، ۱/۳۰ و ۱/۲۹ برابر متوسط هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد زه‌آب شور بود. درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی (که از تفاضل مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی در ابتدا و انتهای آزمون نفوذسنجی در هر گردابان هیدرولیکی و تقسیم آن بر مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی در ابتدای همان گردابان به دست می‌آید) در شرایط کاربرد زه‌آب شور، بیشتر از درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیرشور با شوری برابر ۰/۷۸ دسی‌زیمنس بر متر و در هر ۳ پوشش مصنوعی مورد استفاده در آزمون‌های نفوذسنجی بود (جدول ۵) که این افزایش درصد تغییرات، حاکی از افزایش احتمال گرفتگی پوشش‌های زهکشی در شرایط کاربرد زه‌آب شور می‌باشد.

با توجه به ارقام به دست آمده و نمودارهای مربوط به نتایج آزمون‌های نفوذسنجی (شکل‌های ۳ تا ۵)، ملاحظه می‌شود که هدایت هیدرولیکی در تمامی گردابان‌ها، با افزایش شوری آب ورودی کاهش یافته، به طوری که متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی با کاربرد زه‌آب با شوری ۲۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر، کمتر از متوسط هدایت هیدرولیکی با کاربرد آب غیرشور با هدایت الکتریکی ۰/۷۸ دسی‌زیمنس بر متر بود که دلالت بر تأثیر شوری آب ورودی بر نتایج آزمون نفوذسنجی دارد. در چنین شرایطی، کاهش بیشتر هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در هر گردابان و با گذشت زمان حاکی از افزایش جابجایی ذرات خاک به داخل منافذ پوشش و روزه‌های خاک به دلیل پراکندگی بیشتر تحت تأثیر شوری بالای آب و در نهایت، افزایش انسداد نسبی منافذ پوشش می‌باشد.

کاهش هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در اثر افزایش شوری آب ورودی، حکایت از تأثیر این امر بر جابجایی



جدول ۵- درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد زه آب شور و آب غیر شور

PP900		PP700		PP450		گرادیان هیدرولیکی
EC=۲۲/۲dS/m	EC=۰/۷۸dS/m	EC=۲۲/۲dS/m	EC=۰/۷۸dS/m	EC=۲۲/۲dS/m	EC=۰/۷۸dS/m	
٪۲۳	٪۱۷	٪۲۳	٪۱۵	٪۱۵	٪۱۱	۱/۰
٪۱۷	٪۱۱	٪۲۰	٪۵/۴	٪۲۲	٪۶/۴	۲/۵
٪۲۷/۳	٪۱۲	٪۲۷/۲	٪۱۰	٪۲۹	٪۸	۵/۰
٪۲۱	٪۱۰	٪۲۴	٪۹/۶	٪۱۵	٪۸/۶	۷/۵
٪۱۱/۵	٪۱۰	٪۱۲/۶	٪۷	٪۱۰/۶	٪۲/۳	۱۰/۰

های کریمی و همکاران (۵)، که به منظور ارزیابی عملکرد ۳ پوشش مصنوعی PP450، PP700 و PP900 در مقایسه با پوشش معدنی (شن و ماسه) در شرایط کاربرد آب غیر شور و خاک شور انجام پذیرفت نیز نشان دهنده کارایی بهتر پوشش مصنوعی PP450 نسبت به ۳ پوشش مصنوعی دیگر بود.

در شکل ۶ معادله و خط برازش (رگرسیون) مربوط به تغییرات هدایت هیدرولیکی در گرادیان‌های مختلف برای هر ۳ نمونه پوشش مصنوعی مورد استفاده، با کاربرد زه آب شور و آب غیر شور ترسیم گردیده است. از روی نمودارها، بالاتر بودن مقادیر هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیر شور، در مقایسه با مقادیر هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد زه آب شور به- وضوح در مورد هر ۳ نوع پوشش مصنوعی مشخص است.

در شکل ۷، بهترین خط برازش شده و معادلات مربوط به هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی بر حسب گرادیان هیدرولیکی، به ترتیب در شرایط کاربرد آب غیر شور و زه آب شور نشان داده شده است. با توجه به هر ۲ نمودار مشخص می‌گردد که هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی، چه در شرایط کاربرد زه آب شور و چه در شرایط کاربرد آب غیر شور، در مورد پوشش مصنوعی PP450 از دو نمونه دیگر بیشتر می‌باشد.

#### نسبت گرادیان

نسبت گرادیان از شاخص‌های مهم در زمینه پیش‌بینی پتانسیل انسداد فیزیکی در پوشش‌های مصنوعی است که محاسبه و مقایسه آن در آزمون‌های نفوذسنجی با کاربرد زه آب شور و آب غیر شور، تأثیرگذاری این شرایط را بر احتمال ایجاد و تشدید انسداد در ۳ نمونه پوشش مورد استفاده مشخص می‌سازد. همان‌گونه که از جدول ۶ ملاحظه می‌شود، نتایج محاسبات نسبت گرادیان برای ۳ پوشش مصنوعی و در شرایط کاربرد زه آب شور و آب غیر شور، حکایت از عدم حساسیت مجموعه خاک- پوشش مصنوعی به گرفتگی معدنی دارد، زیرا مقادیر نسبت گرادیان در تمامی موارد، حتی در شرایط کاربرد زه- آب نیز کمتر از یک بود. با دقت در اعداد و ارقام مندرج در جدول ۶

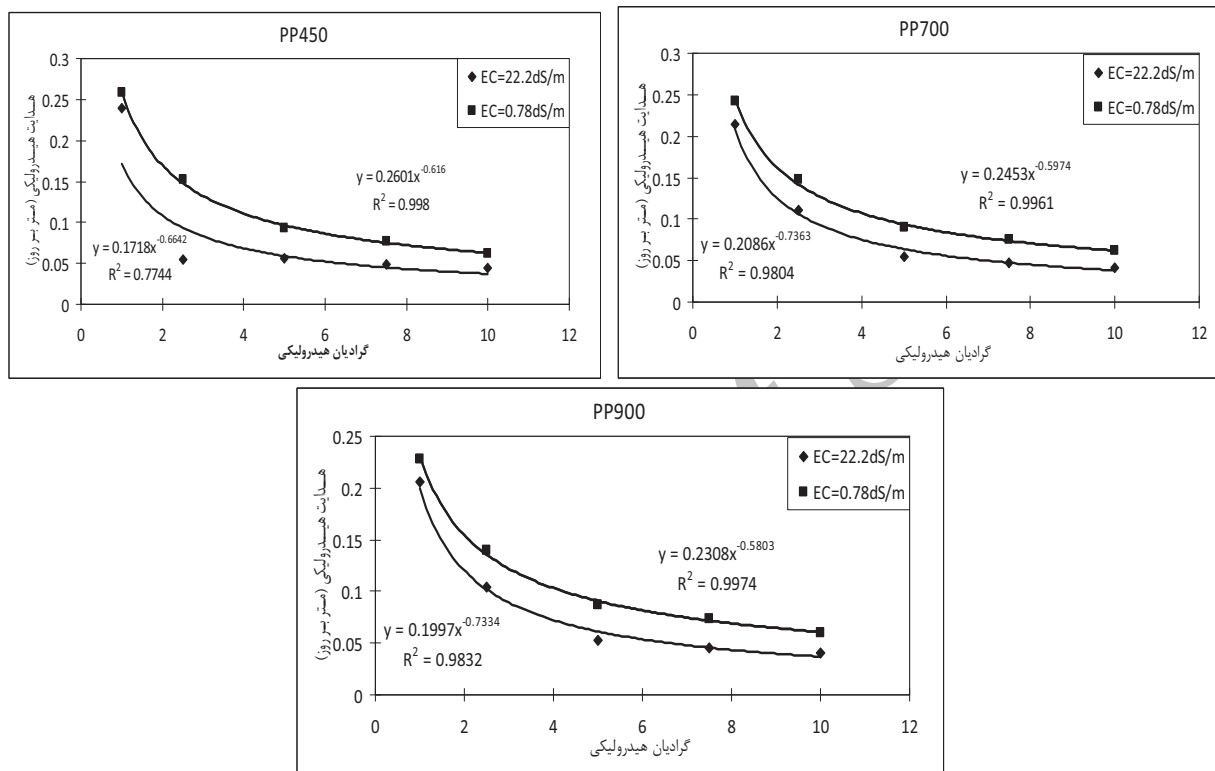
برای پوشش‌های مصنوعی PP450، PP700 و PP900، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش در ابتدای آزمایش‌ها با آب غیر شور ( $EC=0/78 \text{ dS/m}$ )، در گرادیان هیدرولیکی ۱، به ترتیب برابر ۰/۲۶۹۷، ۰/۲۵۸۶ و ۰/۲۴۷۸ متر بر روز و در انتهای آزمون و در همین گرادیان، به ترتیب به ۰/۲۳۹۹، ۰/۲۱۷۹ و ۰/۲۱۳۵ متر بر روز رسید. در شرایط کاربرد زه آب شور در همین گرادیان، این مقادیر در ابتدای آزمون برابر با ۰/۲۵۹۵، ۰/۲۴ و ۰/۲۳ متر بر روز بود که در انتهای آزمون، به ترتیب به ۰/۲۱۸۷، ۰/۱۸۷۱ و ۰/۱۷۶۱ متر بر روز رسید، که نشان از کاهش بیشتر هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد زه آب شور دارد. در هر ۳ نوع پوشش مصنوعی، شاهد روند کاهشی هدایت هیدرولیکی با بالا رفتن گرادیان هیدرولیکی بوده، به طوری که کمترین هدایت هیدرولیکی مربوط به گرادیان هیدرولیکی ۱۰ در هر دو آزمون با شوری‌های متفاوت بود و بیشترین مقدار کاهش هدایت هیدرولیکی، در تغییر گرادیان هیدرولیکی از ۱ به ۲/۵ مشاهده شد. از آنجا که در این بازه، مجموعه خاک- پوشش مصنوعی با افزایش کمیت گرادیان هیدرولیکی از مقادیر زیر بحرانی و معمول در اراضی زهکشی شده (گرادیان ۱ و کمتر) به مقادیر بالاتر از حد معمول و بحرانی (گرادیان ۲/۵) روبرو می‌شود، با افزایش ناگهانی حرکت و جابجایی ذرات خاک به سمت پوشش و منافذ خالی خاک، چنین وضعیتی اتفاق می‌افتد.

در مقایسه مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که هدایت هیدرولیکی متوسط خاک- پوشش مصنوعی PP450 در آزمون نفوذسنجی، در شرایط کاربرد زه آب شور ۱/۰۸ برابر متوسط هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش PP700 و ۱/۱۲ برابر هدایت هیدرولیکی خاک- پوشش PP900 است. در شرایط کاربرد آب غیر شور، مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه در کل آزمون در شرایط کاربرد پوشش مصنوعی PP450 به ترتیب ۱/۰۷ و ۱/۱۳ برابر پوشش‌های مصنوعی PP700 و PP900 بود. این مقادیر دلالت بر عملکرد مطلوب‌تر پوشش مصنوعی PP450 در شرایط کاربرد زه آب شور و آب غیر شور، در مقایسه با دو پوشش مصنوعی دیگر دارد. نتایج بررسی-

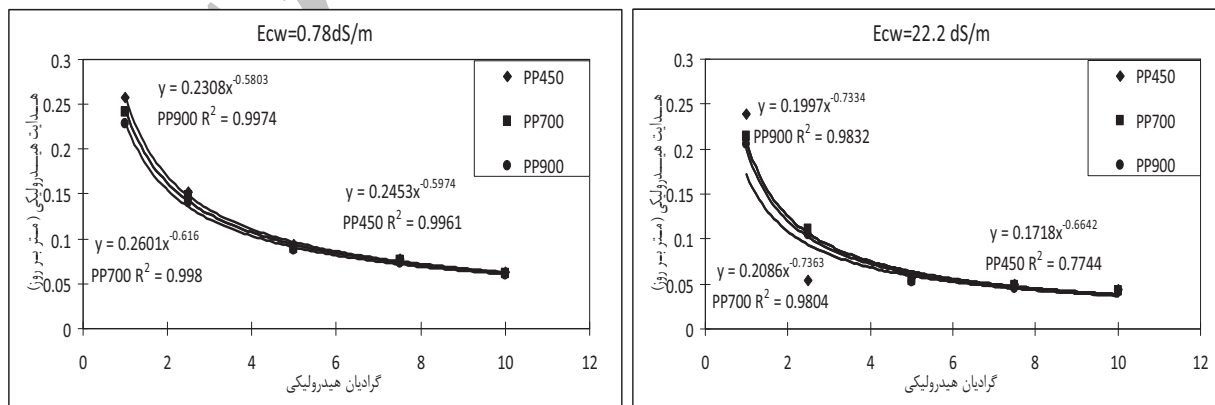
ذرات خاک و نیز طراحی و انتخاب محصول متناسب با خاک). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج مربوط به آزمون‌های نفوذسنجی که در سال ۱۳۸۹ توسط آقای کریمی و همکاران انجام پذیرفت مورد مقایسه قرار گرفت و بین نتایج حاصل از دو تحقیق، توافق نسبی و روند مشابهی ملاحظه شد. اما نسبت گرادیان تمامی انواع پوشش‌های مصنوعی مورد آزمون، در شرایط کاربرد آب غیرشور در مقایسه با شرایط مشابه در زمان کاربرد زه‌آب شور، دارای مقادیر کمتری بود.

می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که در هر ۳ پوشش مورد آزمایش در این آزمون‌ها، کمترین مقادیر نسبت گرادیان در گرایان هیدرولیکی ۱۰ به‌دست آمد.

کاهش نسبت گرادیان در گرادیان‌های هیدرولیکی بالاتر بر اثر نزدیک گشتن مقادیر شیب هیدرولیکی خاک- پوشش به‌شیب هیدرولیکی خاک در طول آزمون می‌باشد که می‌تواند توجیهات مختلفی داشته باشد (به‌ویژه جابجایی بیشتر ذرات خاک در منافذ بین



شکل ۶- نمودار رگرسیون هدایت هیدرولیکی در مقابل گرادیان هیدرولیکی بر حسب نوع پوشش مصنوعی



شکل ۷- نمودار رگرسیون هدایت هیدرولیکی در مقابل گرادیان هیدرولیکی بر حسب کیفیت آب ورودی به سامانه نفوذسنجی

جدول ۶- متوسط مقادیر نسبت گرادیان در سه پوشش مصنوعی زهکشی و در شرایط کاربرد زه آب شور و آب غیرشور

PP900		PP700		PP450		گرادیان هیدرولیکی
EC=۲۲/۲dS/m	EC=۰/۷۸dS/m	EC=۲۲/۲dS/m	EC=۰/۷۸dS/m	EC=۲۲/۲dS/m	EC=۰/۷۸dS/m	
۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۸۵	۰/۷۸	۱/۰
۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۱	۲/۵
۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۳	۵/۰
۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۶۸	۷/۵
۰/۶۱	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۴۰	۱۰/۰

نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که تأثیر میزان شوری، گرادیان هیدرولیکی، نوع پوشش و اثرات متقابل شوری در پوشش، شوری در گرادیان و پوشش در گرادیان و اثر سه گانه شوری در گرادیان در پوشش، بر روی هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک-پوشش مصنوعی در سطح یک درصد معنی دار است و به عبارتی، تفاوت معنی داری بین تیمارهای مورد بررسی از این نظر وجود دارد. این در حالی است که تأثیر متغیر تکرار معنی دار نبوده و تفاوتی بین تیمارهای مورد بررسی از این نظر وجود نداشت.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری مقادیر هدایت هیدرولیکی در ۳ مجموعه خاک-پوشش مصنوعی مورد آزمایش، حکایت از تأثیر معنی دار افزایش شوری آب ورودی به سامانه در تشدید حرکت ذرات خاک و انسداد نسبی پوشش مصنوعی دارد، چرا که در هر ۳ پوشش مصنوعی به کار برده شده، هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک-پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد زه آب شور کاهش پیدا کرد. نوع پوشش مصنوعی از دیگر عوامل تأثیرگذار بر هدایت هیدرولیکی سامانه بود که با دقت در نتایج مشاهده می شود که بیشترین کمیت آن مربوط به کاربرد پوشش مصنوعی از نوع PP450 بود.

بیشترین نسبت گرادیان در آزمون پوشش مصنوعی PP450 مربوط به کاربرد زه آب شور بود که در گرادیان هیدرولیکی یک به ۰/۸۵ رسید. نتایج بررسی های کرمی و همکاران (۵) در رابطه با ارزیابی عملکرد پوشش های مصنوعی نیز نشان داد که نسبت گرادیان برای همین ۳ نوع پوشش مصنوعی در شرایط کاربرد آب غیرشور و خاک، کمتر از یک بوده و کمترین نسبت گرادیان ها در بار هیدرولیکی ۱۰ به وقوع پیوست.

#### تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمون نفوذسنجی

در تجزیه و تحلیل آماری داده ها که در قالب طرح آماری فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی و توسط نرم افزار آماری SPSS انجام پذیرفت، به بررسی دو صفت هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان، با در نظر گرفتن چهار متغیر شوری آب ورودی به سامانه، نوع پوشش، کمیت گرادیان هیدرولیکی و تکرار و نیز اثرات متقابل هریک از آنها پرداخته شد. با توجه به اینکه آزمون های نفوذسنجی با کاربرد آب با دو میزان شوری متفاوت ۰/۷۸ و ۲۲/۲ دسی زمینس بر متر انجام پذیرفت، متغیر شوری در دو مقدار فوق لحاظ گردید. در جدول ۷ نتایج تجزیه واریانس داده های هدایت هیدرولیکی خاک-پوشش های مصنوعی ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی سه نوع پوشش مصنوعی با کاربرد آب با دو میزان شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
شوری	۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵**
گرادیان	۴	۰/۶۷۸	۰/۱۷۰**
پوشش	۲	۰/۰۰۴	**
تکرار	۲	.	ns
شوری × پوشش	۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳**
شوری × گرادیان	۴	۰/۰۰۲	**
پوشش × گرادیان	۸	۰/۰۰۳	**
شوری × گرادیان × پوشش	۸	۰/۰۰۵	**

\*\*\*, \*\* و ns: به ترتیب معنی دار بودن در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی دار بودن می باشند

هدایت هیدرولیکی، بیشترین میزان مربوط به آزمون نفوذسنجی با کاربرد پوشش مصنوعی PP450 و کمترین مقدار مشاهده شده، مربوط به کاربرد پوشش مصنوعی PP900 بود. در خصوص نسبت گرادیان، بیشترین میزان در شرایط کاربرد پوشش مصنوعی PP900 و کمترین آن با کاربرد پوشش PP450 حادث شد. به طور کلی نتایج حاصل از آزمون‌های دانکن هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان، دلالت بر عملکرد بهتر پوشش مصنوعی PP450 نسبت به دو پوشش مصنوعی دیگر به کار برده شده در این تحقیق، در شرایط کاربرد زه آب شور و آب غیرشور دارد.

در جدول ۱۰، نتایج آزمون دانکن در شرایطی ارائه شده که منبع تغییرات، گرادیان هیدرولیکی می‌باشد. با توجه به نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های مربوط به ۳ پوشش مصنوعی آزمایش شده از نظر هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان، می‌توان دریافت که بیشترین نسبت گرادیان و هدایت هیدرولیکی در کمترین گرادیان هیدرولیکی (گرادیان ۱) به وقوع پیوست و کمترین نسبت گرادیان و هدایت هیدرولیکی، در گرادیان هیدرولیکی ۱۰ مشاهده شد. بنابراین هرچه بر میزان گرادیان افزوده شود، عبوردهی آب توسط پوشش کاهش یافته و این امر می‌تواند در نتیجه کاهش اندازه روزنه‌ها در اثر افزایش بار وارده بر مجموعه خاک - پوشش و نیز جایجایی ذرات خاک و انسداد نسبی روزنه‌های پوشش مصنوعی به وقوع پیوندد.

با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آماری برای نسبت گرادیان که در جدول ۸ ارائه شده است، مشخص می‌گردد که میزان شوری آب بر روی مقادیر نسبت گرادیان، در هر ۳ پوشش مصنوعی مورد مطالعه تأثیرگذار بوده و به عبارتی، تفاوت معنی‌داری بین نسبت‌های گرادیان حاصل از آزمون نفوذسنجی با کاربرد زه آب با شوری ۲۲/۲ دسی - زیمنس بر متر و آب غیرشور، در هر ۳ پوشش مصنوعی ایجاد کرده است. از دیگر عوامل تأثیرگذار بر مقدار نسبت گرادیان می‌توان به گرادیان هیدرولیکی و نوع پوشش مورد استفاده در آزمون اشاره کرد که با تغییر هر یک، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بر روی مقادیر نسبت گرادیان ایجاد شد. متغیر تکرار تفاوت معنی‌داری را بر روی نسبت گرادیان نداشت، در حالی که اثر متقابل پوشش در شوری، پوشش در گرادیان، شوری در گرادیان و پوشش در شوری در گرادیان، تفاوت معنی‌داری را بر مقادیر نسبت گرادیان در آزمون‌های نفوذسنجی ۳ پوشش مصنوعی PP450، PP700 و PP900 دارا بودند.

از نتایج آزمون دانکن (مقایسه میانگین‌ها) براساس متغیر نوع پوشش که در جدول ۹ ارائه گردیده است نتیجه می‌شود که هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش مصنوعی و نسبت گرادیان، در آزمون‌های نفوذسنجی از نوع پوشش تأثیر پذیرفته و تفاوت معنی‌داری بین مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده و نسبت گرادیان، در شرایط استفاده از پوشش‌های مصنوعی متفاوت وجود دارد. از نظر

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس مقادیر نسبت گرادیان پوشش‌های مصنوعی در آزمون نفوذسنجی

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)
شوری	۱	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲**
گرادیان	۴	۱/۵۶۴	۱/۶۸۹**
پوشش	۲	۱/۹۸۵	۰/۳۳۵**
تکرار	۲	۰/۰۰۲	ns
شوری × پوشش	۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸**
شوری × گرادیان	۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
پوشش × گرادیان	۸	۰/۰۹۵	۰/۰۰۸**
شوری × گرادیان × پوشش	۸	۰/۰۴۲	۰/۰۰۵**

ns، \*، \*\*؛ به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی‌دار بودن می‌باشند

جدول ۹- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها بر اساس متغیر نوع پوشش مصنوعی (آزمون دانکن  $\alpha = 0/05$ )

متغیر (نوع پوشش)	تعداد	میانگین هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک - پوشش، K (متر در روز)	میانگین نسبت گرادیان (GR)
پوشش مصنوعی PP450	۱۸	۰/۱۲۵۶ <sup>a</sup>	۰/۶۶۸ <sup>c</sup>
پوشش مصنوعی PP700	۱۸	۰/۱۱۷۱ <sup>b</sup>	۰/۶۷۵ <sup>b</sup>
پوشش مصنوعی PP900	۱۸	۰/۱۱۴۳ <sup>c</sup>	۰/۷۰۳ <sup>a</sup>

a و b و c (حروف متفاوت) به مفهوم تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح پنج درصد می‌باشند.

جدول ۱۰- نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها بر اساس متغیر گرادیان هیدرولیکی (آزمون دانکن  $\alpha=0/05$ )

متغیر (گرادیان هیدرولیکی)	تعداد	میانگین هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش، K (متر در روز)	میانگین نسبت گرادیان (GR)
گرادیان هیدرولیکی ۱	۱۸	۰/۲۳۱۰ <sup>a</sup>	۰/۷۸۵ <sup>a</sup>
گرادیان هیدرولیکی ۲/۵	۱۸	۰/۱۰۷۴ <sup>b</sup>	۰/۷۴۵ <sup>b</sup>
گرادیان هیدرولیکی ۵	۱۸	۰/۰۷۲۳ <sup>c</sup>	۰/۶۹۱ <sup>c</sup>
گرادیان هیدرولیکی ۷/۵	۱۸	۰/۰۶۱۳ <sup>cd</sup>	۰/۶۹۰ <sup>c</sup>
گرادیان هیدرولیکی ۱۰	۱۸	۰/۰۵۲۶ <sup>d</sup>	۰/۴۹۶ <sup>d</sup>

a و b و c و d (حروف متفاوت) به مفهوم تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح پنج درصد می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

شدن آن به شرایط بحرانی (به‌ویژه در گرادیان یک و کمتر که به‌طور معمول در پروژه‌های زهکشی حادث می‌شود)، هنوز کلیه نتایج در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرند. از طرفی با توجه به نتایج آنالیزهای آماری و جداول مربوط به آزمون دانکن و مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی و نسبت گرادیان ۳ پوشش مصنوعی که در شرایط کاربرد آب و خاک شور و توسط آزمون نفوذسنجی حاصل شد، عملکرد پوشش مصنوعی PP450 نسبت به دو پوشش مصنوعی دیگر، مطلوب‌تر ارزیابی گردید. لذا با توجه به شرایط حاکم بر بسیاری از پروژه‌های زهکشی موجود در کشورمان (به‌ویژه در جنوب کشور)، در راستای انتخاب بهینه پوشش مصنوعی، ضروری است تا به‌گزیننه کیفیت آب در آزمون‌های نفوذسنجی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار و تعیین کننده، توجه بیشتری مبذول گردد.

بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی و محاسبه شده نسبت گرادیان در آزمون‌های نفوذسنجی ۳ پوشش مصنوعی از انواع PP450، PP700 و PP900، با کاربرد زه‌آب شور و آب غیرشور و آنالیزهای آماری مربوطه، حکایت از آن داشت که عملکرد تمامی پوشش‌های مصنوعی در آزمون‌ها، از شوری آب ورودی به سامانه نفوذسنجی تأثیر می‌پذیرد، زیرا با تغییر میزان شوری آب، تفاوت معنی‌داری در نتایج حادث شد. مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش‌های مصنوعی PP450، PP700 و PP900 در شرایط کاربرد زه‌آب شور، به ترتیب ۲۶، ۳۰ و ۲۹ درصد کاهش را نسبت به شرایط کاربرد آب غیرشور از خود نشان داد که آنالیزهای آماری انجام پذیرفته، این تفاوت را معنی‌دار بیان کرد. درصد تغییرات هدایت هیدرولیکی مجموعه خاک- پوشش مصنوعی در هر یک از پوشش‌های مورد آزمایش، با افزایش شوری آب ورودی به سامانه افزایش یافت که فرض افزایش احتمال گرفتگی پوشش‌های مصنوعی در شرایط کاربرد زه‌آب شور را محکم‌تر می‌سازد. افزایش نسبت گرادیان و میل آن به سمت مقدار استاندارد واحد، دلالت‌بر نزدیک شدن به شرایط بحرانی و افزایش احتمال انسداد فیزیکی در اثر کاربرد زه‌آب شور در مقایسه با کاربرد آب غیرشور در آزمون دارد. لیکن این نکته حائز اهمیت است که علیرغم تغییرات مشاهده شده و نزدیک

## سپاسگزاری

بدین وسیله، نگارندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس حسین سخایی‌راد، مدیریت محترم شرکت سامان آبراه (دفتر اهواز)، به‌جهت مساعدت در تأمین مواد اولیه مورد نیاز (خاک، زه‌آب) در اجرای پروژه تحقیقاتی اعلام می‌دارند.

## منابع

- ۱- حسن اقلی ع. ۱۳۷۵. بررسی رفتار فنی لوله‌های ژئوتکستایل در عمق خاک در مدل‌های آزمایشگاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۲- حسن اقلی ع. ۱۳۸۸. انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به‌عنوان پوشش در زهکشی زیرزمینی. نشریه فنی شماره ۲۰، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- ۳- حسن اقلی ع. و دربندی ص. ۱۳۷۹. ساخت و بررسی عملکرد فنی صافی‌های زهکشی مصنوعی نفاخته در مدل‌های آزمایشگاهی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش پژوهشی نهایی، شماره ۱۸۴.
- ۴- حسن اقلی ع. و لیاقت ع. ۱۳۸۳. کاربرد پوشش‌های زمین‌بافت در زهکشی. مجموعه مقالات سومین کارگاه فنی زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران: ۷۳ - ۵۹.

۵- کریمی ب.، پارسى نژاد م.، حسن اقلی ع. و لیاقت ع. ۱۳۸۷. ارزیابی عملکرد سه نوع پوشش مصنوعی زهکشی در مقایسه با پوشش رایج معدنی در شرایط آزمایشگاهی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۲): ۹۲-۸۱.

- 6- Anonymous. 1993. Construction, road and paving materials (section 4; annual book of ASTM standards). American Society for Testing Materials, Vol. 03. 04.
- 7- Anonymous. 2006. Standard test method for measuring the soil- geotextile system clogging potential by the gradient ratio. ASTM D-5101 Standard. American Society for Testing and Materials.
- 8- Anubhave P. and Basudhar K. 2010. Modeling of soil-woven geotextile interface behavior from direct shear test results. Geotextiles and Geomembranes, (5): 403- 408.
- 9- Aydilik A., Seyfullah H., Ogezun T. and Edil B. 2005. Construction size of geotextile filter. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. 131(1): 28-38.
- 10- Fernando F., Junqueira A., Silvab R., Palmeira E. and Gardoni M. 2006. Performance of drainage system incorporation geosynthetics and their effect on leachate properties. Geotextiles and Geomembranes, (3)2: 120-127.
- 11- Palmeira E.M. and Gardoni M.G. 2002. Drainage and filtration properties of non-woven geotextiles under confinement using different experimental techniques. Geotextile and Geomembranes, Vol. 20: 97-115.
- 12- Raisinghani B.V. and Viswanadham S. 2010. Evaluation of permeability characteristics of agrosynthetic reinforced soil through laboratory tests. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 20: 115-125.
- 13- Raval A. and Anandjiwala R. 2007. Comparative study between needles punched non-woven geotextile structure made from flax and polyester fibers. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 4: 61-65.
- 14- Stuyt L.C.P.M., Dierieckx W. and Beltran M. 2000. Materials for subsurface land drainage systems. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper, NO. 60. Rome.
- 15- Vlotman W.F., Willardson L.S. and Dierieckx W. 2000. Envelope design for subsurface drain. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, the Netherlands, Pub. No 56.

Archive of SID

## Assessment of Clogging Potential of Three Different Synthetic Drainage Envelopes in Application of Saline Water and Soil by Permeability Test

A. Hassanoghl<sup>1\*</sup> - Sh. Pedram<sup>2</sup>

Received: 3-8-2011

Accepted: 16-12-2012

### Abstract

Conventional graded granular filters which are commonly used in subsurface drainage projects in Iran, encounter various difficulties such as huge costs and long distances from source of gravels and led to use of other materials as envelopes. Synthetic products can be justified over granular filters due to their comparable performance, improved economy and ease of placement. Considering that, it's essential to assess selected synthetic envelopes performance before setting them in the field. The objective of this study is assessment of permeameter test processing (based on ASTM D-5101 standard), using 3 different PLM synthetic envelopes (PP450, PP700 and PP900) in application of water with different salinity ( $EC=22.2$  dS/m and  $0.78$  dS/m) and saline-sodic soil ( $EC=169.3$  dS/m and  $SAR=45.18$  (meq/lit)<sup>0.5</sup>), prepared from north Khoram-Shahr drainage project located in Khuzestan Province. This study deal with evaluation of permeability tests results by applying saline water and soil which is not common in permeameter standard tests. So, a distinctive point of this research is using drainage water with high salinity, in comparison with applying normal water and also saline soil. For this purpose, two physical models of permeameter used to do a series of permeability tests by varying synthetic envelope types and saline and normal water. Permeability tests were done at 5 different hydraulic gradients (1, 2.5, 5, 7.5 and 10). Variations of discharge, hydraulic conductivity and gradient ratio (GR) were measured and investigated statically as factorial experiments in the form of randomized complete design. The results demonstrated that the more salinity the lower the hydraulic conductivity in all synthetic envelopes. The average hydraulic conductivity by applying normal water were 1.29, 1.36 and 1.26 times more than the average hydraulic conductivity by applying saline water for PP450, PP700 and PP900 samples respectively. Based on all tests of gradient ratios, it can be concluded that none of the envelope samples were susceptible to clogging, even in application of saline soil and water, even though the probability of clogging by applying saline water was higher. Also, it should be noticed that water quality is essential to encounter in permeability tests.

**Keywords:** Drain water, Gradient ratio, Hydraulic conductivity, Khoram-Shahr, Permeameter, Salinity, Synthetic envelope

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran

(\* - Corresponding Author Email: arho49@yahoo.com)

2- Graduated MSc of Irrigation and Drainage Engineering Department, Aburayhan Campus, University of Tehran